

**О. В. КАЛЮЖНИЙ, В. Л. КАЛЮЖНИЙ, К. К. РЕДЬКА**

### **ВПЛИВ РАДІУСА ЗАОКРУГЛЕННЯ ПУАНСОНА СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ НА ВИТЯГУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ З ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ІЗ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ**

Методом скінченних елементів створені математичні моделі та проведений аналіз витягування пуансоном спеціального профілю з листової заготовки діаметром 199 мм і товщиною 1 мм вісесиметричних порожнистих виробів із нержавіючої сталі. Коефіцієнт витягування складав 0,54, а односторонній зазор між пуансоном і матрицею дорівнював товщині заготовки. Застосування пуансона спеціального профілю забезпечує створення додаткового тягучого зусилля за стінку заготовки при витягуванні та суттєве зниження розтягувального осьового напруження в небезпечному перерізі заготовки. Також виконане моделювання процесів знімання виробів із пуансонів. Виявлений вплив радіуса заокруглення пуансона на силові режими витягування, напружено-деформований стан заготовок та кінцеві форми і розміри виробів. Приведені залежності зусилля витягування та зусилля на притискачі від переміщення пуансона, а також залежність максимального зусилля витягування від радіуса заокруглення пуансона. Зображені розподіли компонент напружень у zdeформованій заготовці при максимальному значенні зусилля витягування і розподіли компонент деформацій по об'єму виробу. Показані форми і розміри виробів після витягування. Вставлена можливість отримання виробів за один перехід із співвідношенням товщини заготовки до радіуса заокруглення від 0,1 до 0,5.

**Ключові слова:** витягування; метод скінченних елементів; порожнистий виріб; пуансон спеціального профілю; зусилля витягування; напруження; деформації.

**A. V. KALYUZHNYI, V. L. KALYUZHNYI, K. K. REDKA**

### **ВЛИЯНИЕ РАДИУСА ЗАКРУГЛЕНИЯ ПУАНСОНА СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ НА ВЫТЯЖКУ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

Методом конечных элементов созданы математические модели и проведен анализ вытяжки пуансоном специального профиля с листовой заготовки диаметром 199 мм и толщиной 1 мм осесимметричных полых изделий из нержавеющей стали. Коэффициент вытяжки составлял 0,54, а односторонний зазор между пуансоном и матрицей равен толщине заготовки. Применение пуансона специального профиля обеспечивает создание дополнительного тянущего усилия по стенке заготовки при вытягивании и существенное снижение растягивающего осевого напряжения в опасном сечении заготовки. Также выполнено моделирование процессов съема изделий с пуансонов. Выявлено влияние радиуса закругления пуансона на силовые режимы вытягивания, напряженно-деформированное состояние заготовок и конечные формы и размеры изделий. Приведены зависимости усилия вытягивания и усилия на прижиме от перемещения пуансона, а также зависимость максимального усилия вытяжки от радиуса закругления пуансона. Показаны распределения компонент напряжений в деформированной заготовке при максимальном значении усилия вытягивания и распределения компонент деформаций по объему изделия. Приведены формы и размеры изделий после вытяжки. Установлена возможность получения изделий за один переход с соотношением толщины заготовки к радиусу закругления от 0,1 до 0,5.

**Ключевые слова:** отрезка заготовок; круглый прокат; метод конечных элементов; усилия отрезки; пластинчатый нож; напряжения; деформации.

**A. V. KALYUZHNYI, V. L. KALYUZHNYI, K. K. REDKA**

### **\*EFFECT OF RADIUS OF ROUND OF PUNCHER OF SPECIAL PROFILE ON EXTRACT OF AXISYMMETRIC PRODUCTS WITH SHEET BILLETS IN STAINLESS STEEL**

A finite element method was used to create mathematical models and an analysis was carried out of a special profile punch with sheet blanks with a diameter of 199 mm and a thickness of 1 mm of axisymmetric hollow stainless steel products. The drawing ratio was 0.54, and the one-sided gap between the punch and die was equal to the thickness of the workpiece. The use of a special profile punch provides for the creation of an additional pulling force along the wall of the workpiece during drawing and a significant reduction in tensile axial stress in the dangerous section of the workpiece. Also, the simulation of the processes of removal of products from punches. The influence of the radius of rounding of the punch on the force modes of extrusion, the stress-strain state of the workpieces and the final shape and dimensions of the products are revealed. The dependences of the pull force and the force on the clamp on the movement of the punch, as well as the dependence of the maximum drawing force on the radius of the punch are given. Shows the distribution of stress components in the deformed workpiece at the maximum value of the pull force and the distribution of the strain components by volume of the product. The shapes and sizes of products after drawing are given. The possibility of obtaining products in one transition with a ratio of the thickness of the workpiece to the radius from 0.1 to 0.5.

**Keywords:** extension; finite element method; hollow product; punch of special profile; pulling effort; tension; deformation.

**Вступ.** Витягування з притискачем вісесиметричних порожнистих виробів із листових заготовок в радіальних матрицях є широко розповсюджений процес для отримання порожнистих виробів різноманітної конфігурації. Технологія витягування з притискачем в радіальних матрицях та проектування штампового оснащення в основному базується на виробничому досвіді та експериментальних даних [1–5]. Використання витягування в конусних матрицях дозволяє ступінь деформації за один перехід та підвищити продуктивність отримання порожнистих виробів [6–8].

Наведені у вказаних джерелах дані не відповідають вимогам сучасного виробництва, як по продуктивності формоутворення, так і по точності форми та розмірів виробів. Використання метода скінченних елементів (МСЕ) для проектування формоутворюючих процесів листового штампування, зокрема процесів витягування, дозволяє отримати всі необхідні дані для проектування технології та суттєво скоротити час на підготовку виробництва [9]. Одним із напрямків інтенсифікації процесів витягування полягає в зниженні зусилля деформування, що забезпечує зменшення осьових розтягувальних напружень в стінці

здеформованої заготовки при формоутворенні, які є

заокруглення  $r_m$  та циліндричною частиною висотою  $h$

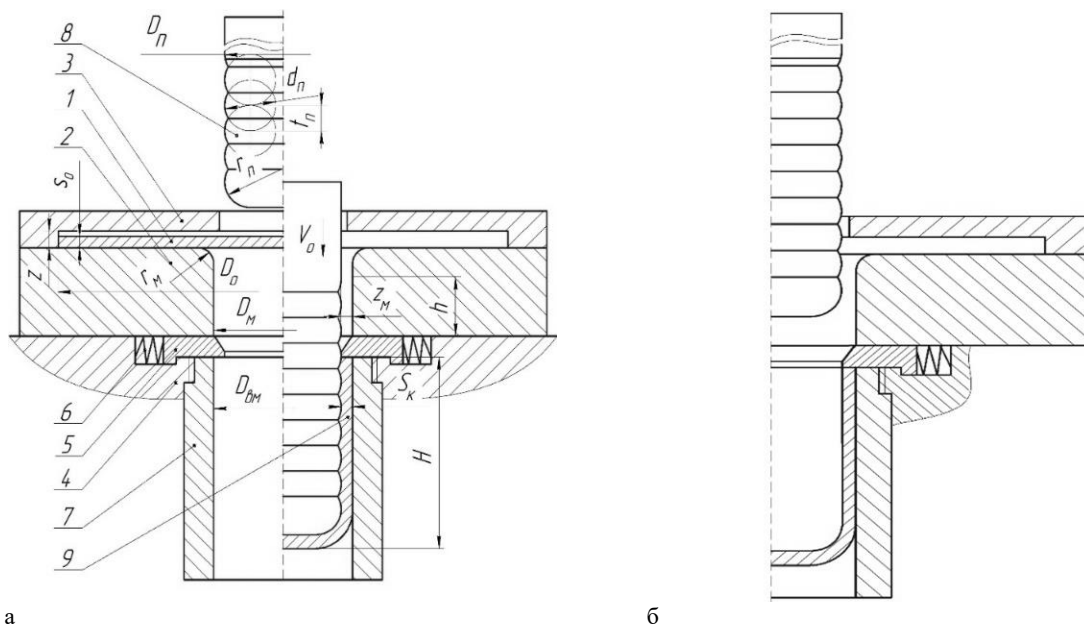


Рис. 1 – схеми витягування порожнистого виробу пуансоном спеціального профілю та знімання виробу з пуансона:  
а – схема витягування, б – схема знімання

причиною відриву донної частини. Використання деформуючого інструменту спеціального профілю приводить до зменшення сил тертя на формозміну витягуванням та збільшити ступінь деформації за один перехід [10,11]. Застосування пуансона спеціального профілю при витягування з потоншення порожнистих заготовок забезпечує створювати додаткове тягнуче зусилля за стінку заготовки, що дозволяє зменшити осьові розтягувальні напруження в місці переходу стінки у донну частину zdeформованої заготовки та суттєво збільшити ступінь деформації при потонненні стінки [11]. Актуальними задачами є застосування такого пуансона при витягуванні з притискачем порожнистих виробів із листових заготовок в радіальних матрицях. Очевидно це приведе також до розвантаження донної частини zdeформованої заготовки при формоутворенні дозволить зменшити зазор між пуансоном і матрицею та підвищити точність стінки порожнистого виробу.

**Мета роботи.** Метою роботи є встановлення впливу радіуса заокруглення пуансона спеціального профілю на витягування з притискачем вісесиметричних порожнистих виробів із листової заготовки з нержавіючої сталі. Також важливими завданнями є встановлення зусилля на притискачі при витягуванні, що необхідно для проектування штампового оснащення.

**Виклад основного матеріалу.** Схеми витягування порожнистого виробу пуансоном спеціального профілю та знімання виробу з пуансона зображені на рис. 1. На рис. 1а приведена схема витягування. Ліворуч від вісі симетрії показане положення на початку витягування, праворуч – після витягування. Вихідна листова заготовка 1 діаметром  $D_0$  і товщиною  $S_0$  розміщена між матрицею 2 та притискачем 3. Зазор між матрицею 2 та притискачем 3 позначений через  $z$ . Матриця 2 із радіусом

встановлена на нижній плиті 4 штампа. Також в нижній плиті штампа розміщені знімачі 5, які спираються на пружини 6, та вкручена втулка 7. Зусилля деформування прикладають за допомогою пуансона спеціального профілю 8. Бокова поверхня пуансона діаметром  $D_n$  утворена перетином торів, що мають перерізи діаметр  $d_n$ . Крок розташування торів має величину  $t_n$ . Радіус заокруглення пуансона зазначений через  $r_n$ , а односторонній зазор між пуансоном і матрицею –  $z_m$ . При витягуванні метал zdeформованої заготовки заповнює впадини на поверхні пуансона, за рахунок чого створюється додаткове тягнуче зусилля за стінку при витягуванні. Схема знімання виробу із пуансона показана на рис. 1б. При зворотному русі пуансона торець виробу 9 спирається на знімачі 5. При цьому проходить вирівнювання виступів на внутрішній поверхні виробу завдяки наявності втулки 7. Виштовхування виробу із відбувається при витягування наступної заготовки.

Встановлення параметрів проводили шляхом моделювання МСЕ з використанням програми DEFORM. Витягуванню із коефіцієнтом тертя  $\mu=0,08$  по Кулону та швидкості деформування  $V_0=7$  мм/сек підлягали листові заготовки із сталі AISI 304. Розміри вихідної заготовки:  $D_0=199$  мм,  $S_0=1$  мм. Розміри пуансона були наступні (див. рис. 1):  $D_n=106,5$ ;  $d_n=8$  мм;  $t_n=2$  мм. Досліджували радіуси заокруглення  $r_n=2, 4, 6, 8$  та  $10$  мм. Розміри матриці:  $D_m=108,5$  мм,  $r_m=10$  мм,  $h=20$  мм. При цьому величини зазору між матрицею і притискачем та пуансоном і матрицею складали відповідно  $z=1,3$  і  $z_m=1$  мм. Згідно рекомендаціям джерела [1] для традиційного витягування циліндричним пуансоном зазор  $z_m$  між матрицею і пуансоном повинен бути не менше  $1,3$  мм. Зменшення величини цього зазору при витягування пуансоном спеціального профілю дозволяє підвищити точність розмірів стінки виробів.

Було проведено моделювання безпосередньо самого процесу витягування, знімання виробу із пуансона та виштовхування виробу другою витягнутою заготовкою. На рис. 2 зображені розрахункові положення в розрізі деформуючого інструмента і заготовки на різних стадіях моделювання. Початковий стан показаний на рис. 2а. Вихідна заготовка 1 розміщена на матриці 2 між притискачем 3. Під матрицею розташовані знімачі 4 та обойма 5. Витягування виконується пуансоном 6. На рис. 2б приведені положення в кінці витягування з отриманням виробу 7. Знімання виробу з пуансона виконується при його зворотному переміщенні (рис. 2в). На рис. 2г показані положення після, яке отримане після виштовхування виробу 7 із обойми 5 другою витягнутою заготовкою 8.

Розрахунковим аналізом для кожної радіуса заокруглення  $r_n$  встановлені залежності зусилля витягування, зусилля на притискачі та зусилля знімання виробу із пуансона від його переміщення. Виявлений напружений стан у zdeформованій заготовці при максимальній величині зусилля

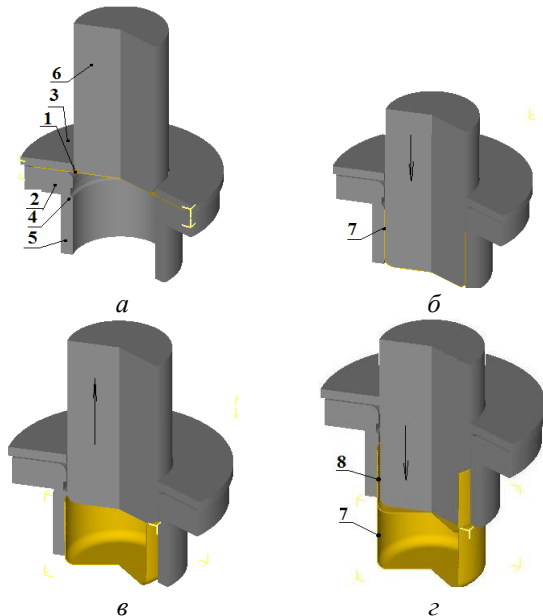


Рис. 2 – Розрахункові положення в розрізі заготовки і деформуючого інструмента: а – на початку витягування, б – в кінці витягування, в – після знімання виробу з пуансона, г – після виштовхування виробу другою заготовкою

витягування, кінцевий zdeформований стан та форма і розміри виробів.

**Обговорення результатів.** Моделюванням встановлено, що застосування пуансона спеціального профілю забезпечує формоутворення виробів для всіх розглянутих радіусів заокруглення. Це суттєво розширює технологічні можливості процесів витягування порожнистих виробів із листових заготовок. На рис. 3 показана залежність максимального значення зусилля витягування  $P_d^{max}$  від радіуса заокруглення  $r_n$  пуансона. Величина радіуса  $r_n$  не суттєво впливає на величину цього

зусилля. Найменша величина зусилля отримана для витягування пуансоном із  $r_n=6$  мм.

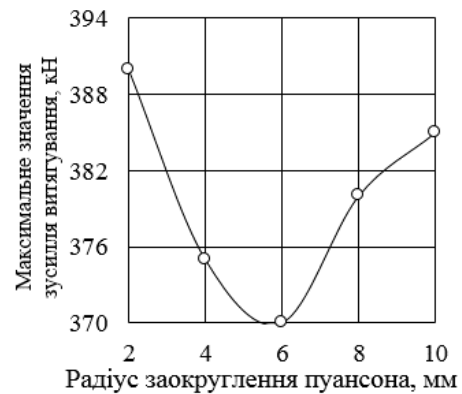


Рис. 3 – Залежність максимального значення зусилля витягування від радіуса заокруглення пуансона

Залежності зусилля на пуансоні та зусилля на притискачі від переміщення пуансона для витягування із  $r_n=6$  мм зображені на рис. 4. Найбільше значення зусилля витягування склало 372 кН при переміщенні пуансона 66 мм. Максимальна величина зусилля 27,4 кН виникає на притискачі при переміщенні пуансона 58 мм. По графіку зусилля на пуансоні можна оцінити роботу деформації при витягуванні.

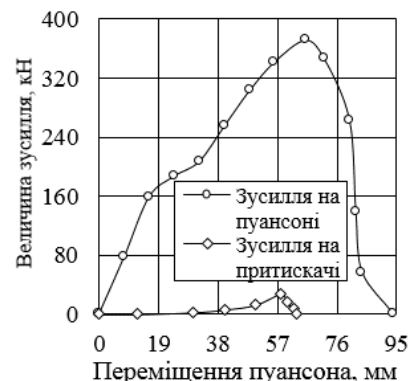


Рис. 4 – Залежності зусилля на пуансоні та на притискачі від переміщення пуансона при витягуванні із  $r_n=6$  мм

Для проектування штампового оснащення та вибору матеріалу пуансона необхідно знати розподіл питомих зусиль на контактуючих поверхнях zdeформованої заготовки з деформуючим інструментом, який виникає при максимальному зусиллі витягування  $P_d^{max}$ . Питомі зусилля можна оцінити по нормальних напруженнях  $\sigma_n$  на вказаних поверхнях. Положення деформуючого інструмента і заготовки при зусиллі  $P_d^{max}$  з розподілом напружень  $\sigma_n$  приведені на рис. 5. Тут і в подальшому тонкими лініями зображений деформуючий інструмент, а розміри по вісях показані в міліметрах. Зусилля витягування  $P_d^{max}$  виникає після виходу zdeформованої заготовки із зазору між матрицею і притискачем. Найбільші величини напружень  $\sigma_n$  виникають на виступах бокової поверхні пуансона. На поверхні матриці максимальна величина нормальних напружень отримана в місці переходу радіуса матриці в циліндричну частину.

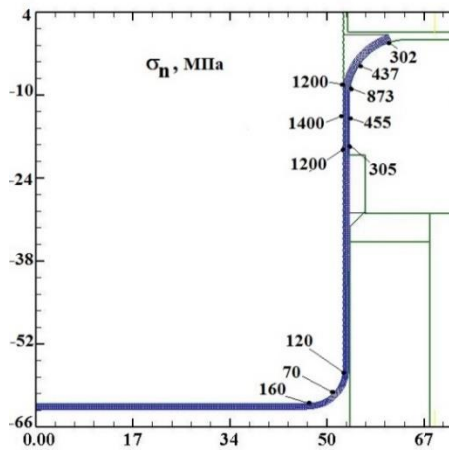


Рис. 5 – Розподіл нормальних напружень  $\sigma_n$  на поверхнях контакту заготовки з інструментом при максимальному зусиллі витягування

Розподіли компонент напружень у здеформованій заготовці, які виникають при зусиллі  $P_d^{max}$ , для витягування із  $r_n=6$  мм приведені на рис. 6. У стінці виникають розтягувальні осьові напруження (рис. 6а). Найбільші значення напружень у межах  $\sigma_z=540\div590$  МПа знаходяться в стінці між пуансоном і циліндричною частиною матриці та на початку переходу стінки у донну частину. Радіальні напруження  $\sigma_r$  у стінці стискаючі і досягають величини  $\sigma_r=-810$  МПа на радіусі заокруглення матриці (рис. 6б). У донній частині ці напруження розтягувальні. Тангенціальні напруження  $\sigma_\theta$  у здеформованій заготовці на радіусі заокруглення матриці стискаючі і знаходяться у межах  $\sigma_\theta=-102\div920$  МПа (рис. 6в). У циліндричній частині стінки отримані

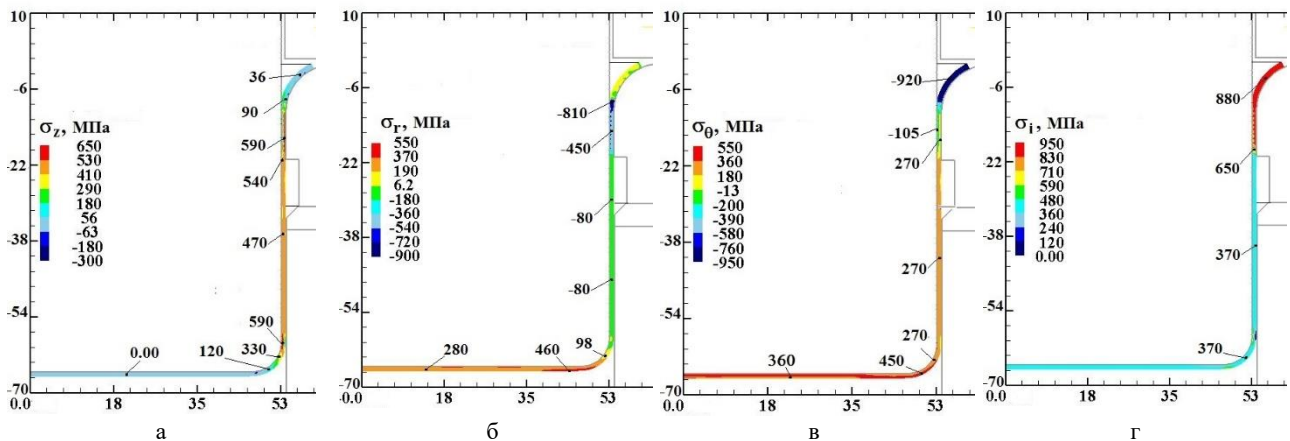


Рис. 6 – Розподіли компонент напружень у здеформованій заготовці, які виникають при зусиллі  $P_d^{max}$ , для витягування пуансоном із  $r_n=6$  мм: а – розподіл осьових напружень  $\sigma_z$ , б – розподіл радіальних напружень  $\sigma_r$ , в – розподіл тангенціальних напружень  $\sigma_\theta$ , г – розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$

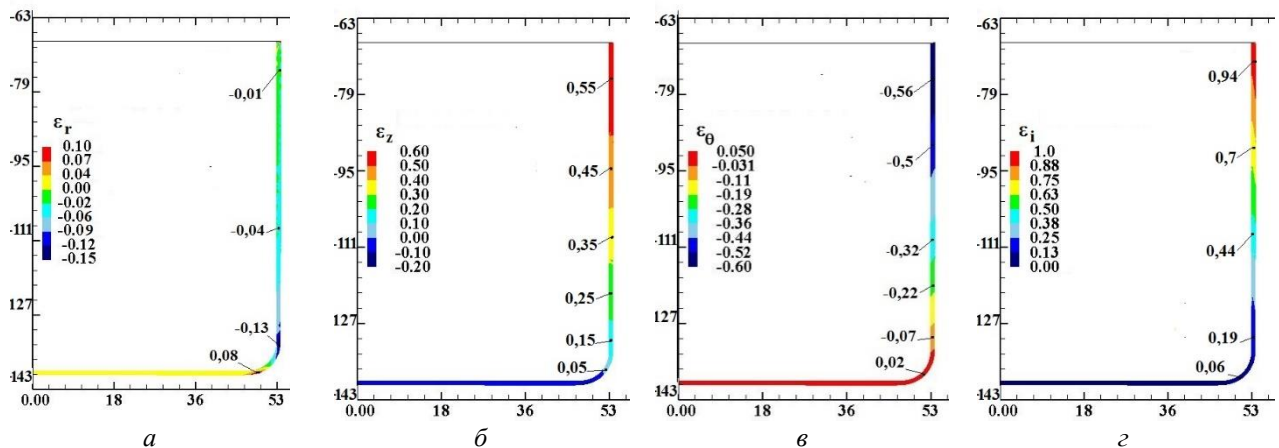


Рис. 6 – розподіли Компонент деформацій у здеформованому металі виробу після витягування пуансоном із  $r_n=6$  мм: а – розподіл осьових деформацій  $\epsilon_z$ , б – розподіл радіальних деформацій  $\epsilon_r$ , в – розподіл тангенціальних деформацій  $\epsilon_\theta$ , г – розподіл інтенсивності деформацій  $\epsilon_i$

розтягувальні напруження  $\sigma_\theta$  з досягненням величини  $\sigma_\theta=450$  МПа на радіусі заокруглення пуансона. Інтенсивність напружень  $\sigma_i$  розподілена нерівномірно по висоті стінки здеформованої заготовки (рис. 6г).

Найменше значення  $\sigma_i=370$  МПа отримане на радіусі заокруглення пуансона з подальшим збільшення до величини  $\sigma_i=880$  МПа на радіусі заокруглення матриці.

Розподіли компонент деформацій у здеформованому металі виробу наведені на рис. 6. По всьому об'єму виробу отримані розтягувальні осьові деформації  $\varepsilon_z$  (рис. 6б). Найбільша величина  $\varepsilon_z=0,55$  має місце в області торця стінки виробу. Далі ці деформації зменшуються по висоті стінки і на радіусі заокруглення стінки у донну частину отримано  $\varepsilon_z=0,05$ . В стінці виробу отримані незначні стискаючі радіальні деформації, які змінюються від  $\varepsilon_r=-0,01$  в області торця до  $\varepsilon_r=-0,13$  в місці переходу стінки в радіус заокруглення донної частини (рис. 6б). При витягуванні виникають значні тангенціальні деформації  $\varepsilon_\theta$ . Розподіл деформацій  $\varepsilon_\theta$  приведений на рис. 6в. В області торця стінки отримана величина  $\varepsilon_\theta=-0,56$  зі зменшенням (по абсолютній величині) по висоті стінки до величини  $\varepsilon_\theta=-0,07$  на початку радіуса заокруглення з донною частиною. На самому радіусі ці деформації розтягувальні. Інтенсивність деформацій  $\varepsilon_i$  також розподілена нерівномірно по висоті стінки

виробу. Найбільше пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією відбувається в області торця стінки виробу, в якій отримано  $\varepsilon_i=0,94$ . Далі, до донної частини, величина деформацій  $\varepsilon_i$  поступово зменшується та досягає величини  $\varepsilon_i=0,06$  на радіусі заокруглення донної частини. Використовуючи дані по значеннях  $\varepsilon_i$  та експериментальну діаграму істинних напружень можна прогнозувати величину межі текучості  $\sigma_s$  здеформованого металу виробу. Для наведених величин  $\varepsilon_i$  у стінці виробу здеформований метал має межу текучості  $\sigma_s=700\div 960$  МПа.

Результатом напружено-деформованого стану при витягуванні пуансоном спеціального профілю з різним радіусом заокруглення є форма і розміри порожнистих виробів, які наведені на рис. 7. На рис. 7а і 7б зображені форма і розміри виробу після витягування пуансоном із  $r_n=2$  мм.

Висота виробу складає 72 мм, а товщина стінки по всій висоті практично однакова до початку радіуса заокруглення у донну частину, на якому отримано товщину 0,9 мм. Збільшення радіуса заокруглення пуансона приводить до підвищення точності форми і розмірів виробів після витягування. На рис. 7в і 7г приведені відповідно форма і розміри виробу після витягування пуансоном із  $r_n=6$  мм. Відставання здеформованої заготовки від пуансона складає всього 0,1 мм. Зменшилося потоншення стінки на початку та самому радіусі заокруглення пуансона, а також потоншення донної частини виробу. Було встановлено, що при витягуванні пуансонами із  $r_n=8$  мм і  $r_n=10$  мм вказане відставання відсутнє.

Таким чином, застосування пуансона спеціального профілю дозволяє проводити витягування порожнистих виробів пуансонами з різним радіусом заокруглення. При цьому підвищується точність стінки виробів за рахунок можливості зменшення одностороннього зазору між пуансоном і матрицею до величини товщини вихідної заготовки. Також немає необхідності в операції калібрування напівфабрикатів після витягування для отримання малих радіусів заокруглення стінки у донну частину виробів.

### Висновки.

1. За допомогою МСЕ встановлений вплив радіуса заокруглення пуансона спеціального профіля на силові режими та напружено-деформований стан заготовок при витягуванні з притискачем порожнистих виробів із листових заготовок з нержавіючої сталі.

2. Показана можливість отримання виробів товщиною 1 мм пуансонами із радіусами заокруглення  $r_n=2, 4, 6, 8$  і 10 мм при зазорі між пуансоном і матрицею, який дорівнює товщині заготовки.

3. Визначені зусилля витягування, зусилля на притискачі та розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті.

4. Встановлені напружений стан здеформованих заготовок при максимальному зусиллі витягування та кінцевий деформований стан по об'єму виробів.

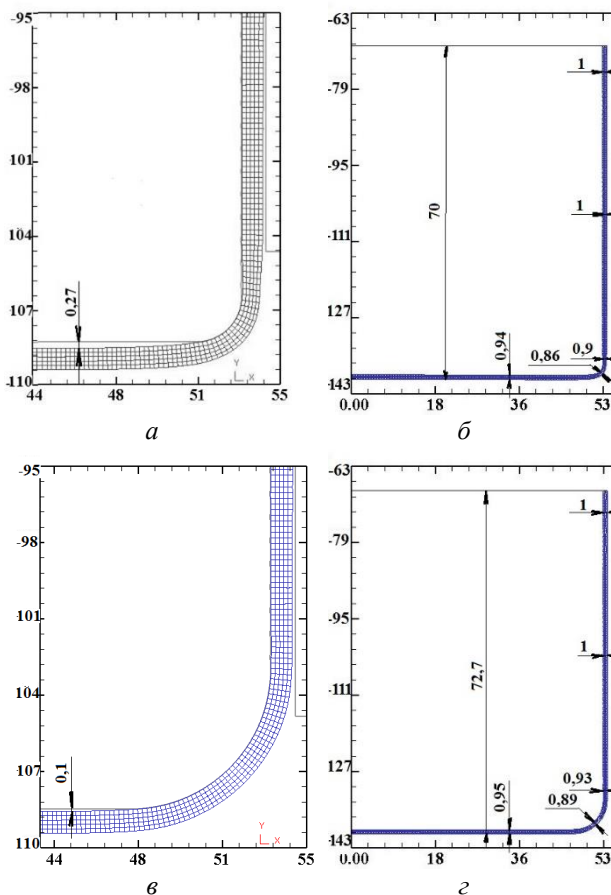


Рис. 7 – Форма і розміри виробів після витягування пуансонами із  $r_n=2$  і  $r_n=6$  мм: а – форма донної частини і б – розміри виробу після витягування із  $r_n=2$  мм; в – форма донної частини і г – розміри виробу після витягування із  $r_n=6$  мм

Донна частина виробу відстає від пуансона на 0,27 мм. На радіусі заокруглення пуансона стінка виробу суттєво потоншується. З вихідної товщини  $S_0=1$  мм отримано 0,86 мм. Товщина донної частини також зменшилася до величини 0,94 мм.



5. Виявлені кінцеві форма і розміри виробів після витягування. Збільшення величини радіуса заокруглення приводить до підвищення точності форми і розмірів виробів

#### Список літератури

1. Романовский В.П. *Справочник по холодной штамповке*. 6-е изд., перераб. и доп. / В.П. Романовский. Ленингр. отд-ние: Машиностроение. 1979. 520 с.
2. *Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4. Листовая штамповка* / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. 544 с.
3. Аверкиев Ю.А. *Холодная штамповка* / Ю. А. Аверкиев. Издательство Ростовского университета, 1984. 288 с.
4. Аверкиев Ю.А. *Технология холодной штамповки* / Ю.А. Аверкиев., А.Ю. Аверкиев. М: Машиностроение, 1989. 304 с.
5. Попов Е.А. *Технология и автоматизация листовой штамповки* / Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин. – М: Изд-во МГТУ им.Н.Э Баумана, 2003. 480 с.
6. Валиев С.А. *Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов* / С.А. Валиев. М: Машиностроение, 1973. 176 с.
7. Калюжний В.Л. Визначення оптимального кута вхідного конусу двоконусної матриці для комбінованого витягування вісесиметричних виробів / В.Л. Калюжний, А.С. Запороженко // *Збірник наукових праць. Серія галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава: Полт. НТУ. 2013, № 2(37). С. 99-105.
8. Калюжний О.В., Комбіноване витягування вісесиметричних порожнистих виробів з листових заготовок із сталі AISI-316L в одноконусній матриці та матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний, С.С. Соколовська // *Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА. 2016. №1 (42). С. 157-164.
9. Калюжний О.В. *Інтенсифікація формоутворюючих процесів холодного листового штампування* / О.В. Калюжний, В.Л. Калюжний. К: ТОВ «Сік Груп Україна». 2015. 292 с.
10. Калюжний О.В. *Інтенсифікація комбінованого витягування вісесиметричних прожнстих виробів в одноконусній матриці спеціального профілю* // *Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА. 2017. №1 (44). С. 229-238.
11. Калюжний О.В. Визначення параметрів витягування з потоншенням зпрофілюваним пуансоном порожнистих заготовок після видавлювання / В.О. Калюжний, С.С. Соколовська // *Вісник НТУ «ХПІ»: Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії»*, Харків: НТУ «ХПІ». 2017. № 36(1257). С. 21-28.

#### References (transliterated)

1. Romanovskiy V.P. *Spravochnik po holodnoy shtampovke*. 6-e izd., pererab. i dop. / V.P. Romanovskiy. Leningr. otd-nie: Mashinostroenie. 1979. 520 p.
2. *Kovka i shtampovka: Spravochnik: Vol. 4. Listovaya shtampovka* / Pod red. A.D. Matveeva; Red. совет: E.I. Semenov (pred.) i dr. – Moscow: Mashinostroenie, 1985-1987. 544 p.
3. Averkiev Yu.A. *Holodnaya shtampovka* / Yu. A. Averkiev. Izdatelstvo Rostovskogo universiteta, 1984. 288 p.
4. Averkiev Yu.A. *Tehnologiya holodnoy shtampovki* / Yu.A. Averkiev., A.Yu. Averkiev. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 304 p.
5. Popov E.A. *Tehnologiya i avtomatizatsiya listovoy shtampovki* / E.A. Popov, V.G. Kovalev, I.N. Shubin. – Moscow: Izd-vo MGTU im.N.E Bauman, 2003. 480 p.
6. Valiev S.A. *Kombinirovannaya glubokaya vytyazhka listovykh materialov* / S.A. Valiev. Moscow: Mashinostroenie, 1973. 176 p.
7. Kaliuzhnyi V.L. Vyznachennia optymalnoho kuta vkhidnoho konusu dvokonusnoi matrytsi dlia kombinovanoho vytyahuvannia visesymetrychnykh vyrobiv / V.L. Kaliuzhnyi, A.S. Zaporozhchenko // *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya hалуzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Poltava: Polt. NTU. 2013, № 2(37). pp. 99-105.
8. Kaliuzhnyi O.V., Kombinovane vytyahuvannia visesymetrychnykh porozhnistykh vyrobiv z lystovykh zahotovok iz stali AISI-316L v odnokonusnii matrytsi ta matrytsi spetsialnoho profilu / O.V. Kaliuzhnyi, S.S. Sokolovska // *Obrabotka materialov davleniem. Sbornykh nauchnykh trudov*. Kramatorsk: DHMA. 2016. №1 (42). pp. 157-164.
9. Kaliuzhnyi O.V. *Intensyfikatsiia formoutvoriuiuchykh protsesiv kholodnoho lystovoho shtampuvannia* / O.V. Kaliuzhnyi, V.L. Kaliuzhnyi. K: TOV «Sik Hrup Ukraina». 2015. 292 p.
10. Kaliuzhnyi O.V. *Intensyfikatsiia kombinovanoho vytyahuvannia visesymetrychnykh prozhnystykh vyrobiv v odnokonusnii matrytsi spetsialnoho profilu* // *Obrabotka materialov davleniem. Sbornykh nauchnykh trudov*. Kramatorsk: DHMA. 2017. No1 (44). pp. 229–238/
11. Kaliuzhnyi O.V. Vyznachennia parametriv vytyahuvannia z potonshenniam zprofilovanyim puansonom porozhnistykh zahotovok piislia vydavliuvannia / V.O. Kaliuzhnyi, S.S. Sokolovska // *Visnyk NTU «KhPI»: Seriya «Innovatsiini tekhnologii ta obladnannia obrobky materialiv u mashynobuduvanni ta metalurhii»*, Kharkiv: NTU «KhPI». 2017. No 36(1257). pp. 21–28

Надійшла (received) 11.11.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Калюжний Олександр Володимирович (Калюжный Александр Владимирович, Alexsandr Kaljuzhnyi)**, кандидат технічних наук, доцент. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів; e-mail: av-k@ukr.net.

**Калюжний Володимир Леонідович (Калюжный Владимир Леонидович, Vladimir Kaljuzhnyi)** – доктор технічних наук, професор. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів; e-mail: kwl\_2011@ukr.net.

**Редька Каріна Костянтинівна (Редька Карина Константиновна, Redka Karina Kostiantynivna)** – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», студент